

第6章

デザイン思考を取り入れて心も体も健康に働くには

—基礎デザイン課外ゼミの実践—

1. はじめに

少子高齢化が進む日本において、50年後も人口1億人を維持し、国民の誰しもが職場・家庭・地域で活躍できる「一億総活躍社会」の実現に向け、「働き方改革」の取り組みが進められています。働き方改革により、仕事ぶりや能力の評価に納得して働きたい若者や、時間・場所などに制約されず出産・子育て・介護などと仕事を無理なく両立したい女性の希望を叶えるための対応策が立てられています。特に、ポテンシャルを秘めている女性の就労機会の促進を目的として「女性が輝く社会」を作ることは、最重要課題の一つとして位置付けられており、若い女性が活躍できる機会は広がっているといえます。

一方で、「最近の若者はゆとり教育で育ったから、忍耐が無くすぐに辞めてしまう」などと言われることも、しばしばあります。ところが、ここ10年間の大学卒業後の3年以内の離職率は、ほぼ横ばい状態です¹⁾。それにもかかわらず、若者の離職率について取り沙汰されているのは、離職理由に変化があったからだと推測されます。労働時間・休日・休暇の条件などへの不満以外に、「思っていた仕事ではない」という、仕事内容のミスマッチや、「下積み期間が長く、その後のステップアップが明確でない」という、その会社で長く働いていく上での将来性の不安が挙げられます。また、「部下への対応や業務のルールがその日の気分が変わる、メンバーによって対応が異なる、上司や同僚からフォローアップがない」など、いわゆるパワハラとまではいかななくても、「上

司に頼れない」といった精神的な面での労働環境への不安があるからではないかと考えられます。

誰もが、性や年齢などにかかわらず、自らの意思と能力を持って様々な働き方や生き方に挑戦できる社会の実現を望んでいます。しかし、その社会の実現のためには、自らがその機会を掴むことが重要であり、受動的であってははいけません。筆者らは、よりよく生きるための考え方を、デザインの思考と結びつけることが、ワークライフバランスを確保して健康に柔軟に生きていくためのヒントとなるのではと考え、本大学の特徴的な教育研究活動としての「デザイン教育メソッド」の研究開発とその実践を進めています。本章では、この2年間公開講座として取り組んできた「基礎デザイン課外ゼミ」の背景と成果を述べるとともに、デザインの思考の実践が健康に働くための精神的よりどころとなることを議論します。

2. デザインの意義

デザインという言葉の語源は、ラテン語の「Designare」にあるといわれています²⁾。Designareは「計画を記号に表す」つまり図面に構想を書き表すという意味です。一方で現代社会には“デザイン”という言葉が溢れています。思いつくだけでもインテリアデザイン、ウェブデザイン、グラフィックデザイン、照明デザイン、パッケージデザインといった具体的なものから、環境デザイン、コミュニケーションデザイン、商業デザイン、情報デザイン、ユニバーサルデザインといった抽象的なものまで、あらゆる分野にまたがります。すなわち、“デザイン”という言葉は、日用品のデザイン（工業製品の意匠）から街全体のデザイン（景観計画）という複雑なものまで、人間が構想した目に見える環境のあらゆるものの総称として使用されているといえます。

デザインとは、“コンセプト”や“ビジョン”に従って戦略的に事業計画を立てること、また人が理性や感性を使って“イメージネーション”や“インスピレーション”といった見えないものを創造することによってそれを具現化することです。そのため機械やロボットにはできないとされています。ある種、人

間にしか成しえない技能であり能力です。ただ、その能力は非常に属人的であり、各分野でも一握りの超一流のデザイナーだけがもてはやされ、特別の存在となっています。そうした超一流のデザイナーがデザインした作品（製品）は、いわゆるブランドを形成し、場合によってはアーティストと区別のつかないデザイナーも存在します。

3. モダンデザインの発祥

バウハウス（ドイツ）に始まるモダンデザインの発想に立ち返れば、デザイン行為の本来の目的は、産業革命後に大量生産されるようになった工業製品の意匠にあります³⁾。第一次世界大戦直後のドイツは、工業製品の粗悪な印象が原因で欧州各国（イギリス、フランス、イタリア等）に立ち遅れていました。大量生産される商品には、幅広い層の人々（大衆）に受け入れられる意匠が必要ですし、一部の人（マニア）が気に入って購入すれば目的が達せられるアート作品とは性格がまるで異なってきます。アート作品は基本的に一品主義であり、作品に記名（サイン）があるのが基本です。作家の個性的な表現に共鳴したマニア（富豪や画商）が、その作品を購入すれば目的は達せられます。場合によっては、時代を経て、未来のマニアが再評価し、過去のアーティストを発掘することも起きています。アート作品が作家の死後に世間に認められるケースも多々見受けられます。

これに対して、デザインは大量生産することを前提に創作が行われます。したがって、作品に記名されることは原則あり得ません。依頼主（クライアント）の要請に応じて、工業製品に求められる機能やイメージを具現化します。アートが自己主張や自己実現を目的とするのに対し、デザインは依頼主の要望を満たす中で、「美・快・楽」のイメージを追求し、製品の機能を可視化します。この考えは、製品のパッケージデザインや広告のポスター等のデザインにも共通します。すなわち、プロのデザイナーは黒子に徹し、依頼主の要望に合わせて、それをより高い次元で具現化できる能力が必要です。この点が、アーティストとの大きな違いで、自己実現の欲求が強すぎると、依頼主の要請を無

視して自己満足のデザインに陥る危険性ははらんでいます。そのようなデザイン作品は、プロの世界では「ゴミ」として廃棄される運命となる場合もあります。

より多くの人を受け入れる魅力的な意匠の開発手法の確立を目指して、モダンデザイン発祥の拠点となったバウハウスが誕生します³⁾。第一次世界大戦後にドイツ革命が勃発し（1918年）、ドイツ帝国が崩壊してワイマール共和国が成立します。そのワイマールに、工芸学校と美術学校を合併した「国立バウハウス」が設立されました（1919年）。

初代校長はモダニズムを代表する建築家のパルター・グロピウスでした。グロピウスは、宣言において、「手仕事を重視すべきこと、総合芸術である大建築の下に全ての造形活動を再統一すること」を強調し、建築を芸術の最高位として位置付けました。バウハウスとは造語で、ドイツ語で「BAU（建築）のHOUSE（家）」という意味です²⁾。

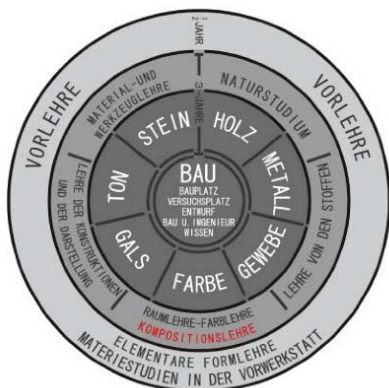


図6-1 バウハウスの教育課程⁴⁾

4. バウハウスの教育理念

図6-1は、バウハウスの教育課程であり、中心に最終目標となるBAU（建築）が位置付けられています⁴⁾。一番外周を占めているのが、この教育課程の入り口となるVORLEHRE（予備課程）です。当時、この予備課程を担当していたのは、スイス出身の芸術家ヨハネス・イッテンやパウル・クレーらで、初期の教育内容は合理主義的（機能主義的）なものと同表現主義的（精神主義・芸術的）なものと同分離な教育内容でした。1922年からバウハウスに参加したロ

シア出身の画家ワシリー・カンデンスキーの影響で、構成主義的な造形教育が開始されます。この内容が、図6-1の外周から2番目の下側に位置付けられた「COMPOSITIONSLEHRE 構成教育」です。予備課程と構成教育を基本とするデザイン教育手法の追求が初期のバウハウスの試みであり、その手法の延長線上にモダンデザインやモダニズム建築の開化があったと推察されます。モダニズム建築の象徴とされるのはグロピウスにより設計されたバウハウスの「デッサウ校舎」(1926年)です。バウハウスは1925年にドイツ・ワイマール(図6-2)からデッサウに移転し「デッサウ市立バウハウス」となっています。その後、デッサウ校は1932年に閉鎖し、ベルリンに移転します。しかし、1933年にはナチスの圧力の下に、解散に追い込まれています。その活動は、わずか14年間でしたが、第二次世界大戦後の世界にバウハウスの教育理念は広がっていき、現代のデザインの源流として位置づけられています。



図 6-2 バウハウス・ワイマール博物館

5. 大学での基礎デザイン教育研究

バウハウスの予備課程教育では、デザインの基礎を学ぶための「試み」が行われ、当時の学生作品が残されています。筆者の一人は、約15年前にドイツ・デッサウやワイマールを訪れ、それらの作品を鑑賞し、イッテンやカンデンスキーを中心とするバウハウス教師陣の試行錯誤の足跡を調査しました。それは、デザイン教育メソッドを確立するための教材開発の試みであったと理解されます。ただ、図6-3に示した作品群⁴⁾に対する説明はほとんど残されてはならず、イッテンやカンデンスキーの真の意図は計り知れません。その後、イギリス、スイス、イタリア等のヨーロッパ各地で調査を続け（科学研究費特定領域研究の支援を得て）、バウハウスの予備課程教育の影響が現在の各国のデザイン教育にどのように反映されているかを確認しようとしましたが、その痕跡はほとんど残されていませんでした。この意味では、バウハウスでの教育メソッドの追求は試みに終わり、その後継承され確立されているとは考えられません。日本の美大・芸大等の入試試験で出題される各種の課題は、こうした予備課程教育で試みられた「構成課題」の影響を受けたものが多く、その訓練を行っているのは受験予備校であり、目標とする各美大・芸大の出題傾向に合わせた課題となっているようです。美大・芸大入学後は、こうした基礎技術は身に付けているものとして、応用美術・応用デザイン課題作品の制作の教育研究がなされ、デザインの基礎を大学で学ぶ機会はほとんどありません。その中で、日本で唯一の「基礎デザイン学科」が武蔵野美術大学に設立されているのは秀逸のことであり、ユニークな存在です。

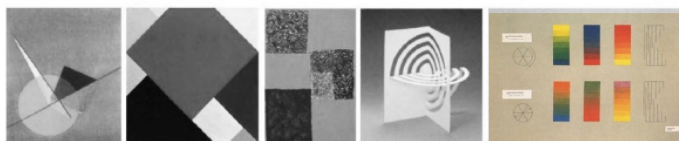


図6-3 バウハウス予備課程での作品群⁴⁾

一方、筆者の一人の前任地である山口大学では、旧教養部の改組に伴って、1995年4月に工学部に「感性デザイン工学科」が設置され、デザインと工学の融合を目指すユニークな建築系学科としてスタートしました。当時は、教養部の教師陣から物理学、哲学、ドイツ文学、英語、心理学など、幅広い分野の教師陣を迎え、これに工学系（建築、情報、数学、機械）の教員が加わり、30人近い教師陣で学生定員50人の小規模学科を指導する贅沢とも言える状況が生まれました。いわゆる、リベラルアーツ教育と専門教育の融合としては理想的な環境を学生に提供していたといえます。その中で、デザイン教育の基礎を教授する教員がいないことから、基礎デザイン教育の研究者で広告デザイン（ビジュアル）分野のデザイナーを教員として迎え、大学での「基礎デザイン教育」がスタートします。

感性デザイン工学科という名称に惹かれて、日本全国から志の高い学生が集まっていましたが、入試問題に美術・デザイン関連の出題はなく、学生のデザイン感性は原石の状態で、4年後（学部卒業）や6年後（修士修了）にデザイン職を目指すには基礎から鍛え直す必要がありました。そのため、講義の時間とは別に毎週土曜日を「特訓」の日に当てる「基礎デザイン課外ゼミ」が始まったのです。担当は、着任した教員のボランティア活動に支えられました。そこでは、基礎デザイン教育の要でもある「コンポジション・レッスン」を中心とした実践がスタートしました。「コンポジション・レッスン」は「基礎課程」と「工芸」や「建築」などの専門の教育課程との中間に位置し、「繋ぐ」ことを目的とした「教育課程」として捉えることができます⁵⁾。年間を通して70週以上の土曜日や夏休み期間の特別セミナーを含めた徹底的な訓練が行われました。朝9時に課題が出され、夕方4時過ぎに講評が行われるスタイルで、色彩・平面・立体（油土、紙）構成および鉛筆デッサン等の多様な課題が出題され、色彩感覚・企画力・発想力・構成力・描写力が総合的に鍛えられました。時間制限の中での作業により、マネジメント能力の養成や全員の前での講評による競争原理も働き、Plan・Do・Check・ActのいわゆるPDCAを回しながら、らせん階段を上るように、より高度の課題をこなしていくなかでデザインセンスが磨かれました。3、4年後には就職活動に必要なポートフォリ

オ制作を行い、他大学の美大・芸大生との競争を勝ち抜き、多くの学生がデザイン職を獲得しています。現在、「基礎デザイン課外ゼミ」を体験した卒業・修了生が、海外のデザイン現場を含め日本全国で活躍しています。この中で、著者の一人は「デザイン教育メソッド」の有効性の評価を試みています。その成果は、学生の博士論文として纏められ⁴⁾、デザイン作品の客観的な評価手法の確立にも貢献しています。

その後、約16年間で60人以上のデザイナーを輩出した教員の退職に伴い、山口大学の「基礎デザイン課外ゼミ」も終焉します。筆者の一人は、山口大学を退職した後に、本大学（山口学芸大学、山口芸術短期大学）に職を得て、デザイン教育の必要性を再認識し、共著者らとともに2016年度6月より本大学の「基礎デザイン課外ゼミ」をスタートさせました。受講者は、本学の学生、他大学の学生、社会人、小学生等で、筆者らも受講者の一員です。受講者の中には、かつて感性デザイン工学科で「基礎デザイン課外ゼミ」を体験した2名の社会人も含まれ、また指導者は大学院博士課程感性デザイン工学専攻を修了した照明デザイナーを外部講師として迎えています。

短期大学では、2年間の教育期間中に、プロの現場で要求される各種の応用デザイン課題に対応できる能力を短期間で養成する必要があります。短期大学の2年間は短く、就職活動が始まるまでの準備期間は実質的に1年間以内です。この期間中に、感性デザイン工学科で開発された「デザイン教育メソッド」を、そのまま導入することは不可能です。4年制の大学では、少なくとも3年以上のデザイン教育訓練の時間が確保できますが、本大学では1年間でデザインの基礎を確立する必要があります。そこで、「デザイン教育メソッド」の中でも基本的な、「色彩」と「平面」のコンポジション・レッスンを絞って、この中から必要最小限の構成でデザイン課題の選択と難易度の調整を、外部講師との共同作業で実践しています。筆者らが直接、学生や社会人と一緒に基礎デザイン課外ゼミに参加し、厳選された課題をこなしていくことで、本大学にとって必要な「デザイン教育メソッド」の確立を進めています。

6. コンポジション・レッスンの流れ

コンポジション・レッスンでは、色彩、形態、素材、質感といった造形の各エレメントを、ルールや制作マナー（時間制限を守るなど）に従って、制作していく実習を通して、デザインの基礎を学びます。基本的なデザイン専門知識の習得に加え、発案力の養成や論理的思考・創造性の向上、さらには、現場での常識的なマナーを学習します。下図、図6-4に示す基礎デザイン課外ゼミの流れに沿って説明します。

① 出題

受講者は、指導者による課題の説明を聴き、出題された課題の意図を理解します。それと同時に、出題内容から完成した制作物をイメージする想像力や、不明な点は質問をしてすぐに課題解決する決断・実行力が求められます。

② エスキース・下書き

エスキースとは、出題された課題からイメージしたものを、課題の条件やルールに合うよう、試行錯誤を繰り返しながら、スケッチしていく作業です。ここでは、固定観念に囚われず、より多くのアイデアを柔軟に描き出すことで、発想・企画力とともに表現力や描写力を養います。

さらに、描き出したイメージをもとに指導者からアドバイスをを受け、微調整を加えた後、精密にボードに書き写します。下書きを終えたら、残り時間と作業量を勘案し、全体のスケジューリングを行います。

③ 彩色

②で立てた明度や色味の計画をもとに、色面に色を塗る作業を行います。計画した色を正確

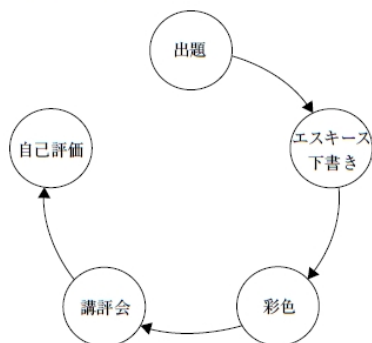


図6-4 実習課題の制作プロセス

に再現し、塗りムラのないように美しく仕上げます。最終的には、白で修正するなどして、全体を整え「美・快・楽」の評価が高くなるように工夫します。

④ 講評会 (図 6-5 参照)

完成した制作物を提出し、指導者による評価を受けます。時間内に完成できなければ、指導者による評価を得ることができません。この時、制作物は評価の高い順 (左から右、上から下) に並べられるため、他者の課題と比較し、問題点や改善点を分析することができます。指導者による質問に、明確に完結に答えることができるよう、“なぜこのようにしたのか”という意図を持って制作することが求められます。この点は、デザイン作品制作の基本であり、プロのデザイナーはクライアントの質問に的確に答えることが要求されます。いずれのレイアウトや配色もすべて、その意図を明確にする必要があります。

⑤ 自己評価

指導者から、評価に関するコメントを受け、改めて自身の制作物と他者の制作物とを比較して、きちんと制作できた点、改善が必要な点を見極め、次の課題に活かすための対策を考えます。実際に、本学での基礎デザイン課外ゼミで制作した参加者の作品例を図 6-6 に示しています。

図 6-3 に示した、パウハウスの予備課程での学生作品と比較すると、課題の意図がより明確となっていることがうかがえます。このことから、パウハウスの予備課程が目指していたものは、我々の課題が目指す「視覚訓練 (ビジュアル・トレーニング)」と共通することが理解できます。すなわち、色の微妙な色味や明度を見分ける訓練がデザイン感性を磨くことであり、それは視覚能力の訓練により実践できます。

また、こうした視覚訓練を通して感性を磨く基礎デザイン教育は、他の美術系・芸術系大学では実践されていない本大学独自の教育手法です。実際のデザイン現場や、ものづくりの現場では、クライアントの要求を満たしながら、美・快・楽を表現するデザインが求められます。その基礎となる「デザイン教育メソッド」を若い時期にしっかり身に付けておくことは、デザイナー自身の「デザインのモノサシ」を形成することであり、これを磨き続けることで一生の宝とすることが可能です。



図6-5 基礎デザイン課外ゼミでの平面構成作品の講評会風景

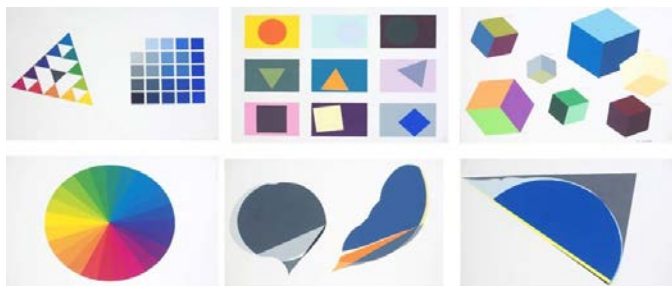


図6-6 本学の基礎デザイン課外ゼミで制作した作品例

7. 「デザインの思考」で人生を豊かにすること

筆者らは、「デザイン教育メソッド」の修得が生活への新しい態度・思考をもたらすと考えています。前述のコンポジション・レッスンの実習課題の制作プロセスでは、一度に多くのことを同時に考え、決められた時間内で仕上げるのが求められます。この実践を積み重ねることで、技術が身に付くととも

に、心理的な効果が次第に分かってきます。普段何げなく目にしている物の色や形が、お互いにどのように影響を与え合い、相互に依存し合っているかが理解できてきます。組み合わせるものの関係性を正確に理解し、必要な情報を取捨選択することが、それぞれの要素の扱い方を知ることに繋がります。これを実践できるようになった段階で、「色彩」「形態」「素材」「質感」のコントロールが初めて可能になり、デザインの基礎能力の獲得となります。このアプローチは、生活観、仕事観、人間関係など、日常生活における様々な領域に応用できると考えます。すなわち、「基礎デザイン課外ゼミ」の実践は、単にデザイン技法や制作マナーを学ぶだけでなく、+αの価値を生み出すのです。アートは、アーティスト本人にしか把握することのできない個性や感性を主張するもので、社会に対しての自己の意思表示だとも言われています。一方、デザインは目的を達成するための手段といえます。多くのデザイン作品は、第三者のために何らかの意図を持って制作されます。その「制作意図」を蔑ろにしてしまっただけでは本末転倒です。

「デザイン」というものの本質を理解することこそが、人生を豊かにすることに繋がるといえます。これは、筆者らが2年間の受講を終えて、身をもって感じていることです。

筆者らは、「デザインの思考」の基本的な考え方を、次のように捉えています。

相手方中心であること

相手（クライアント）の話しに耳を傾け、相手の意図を汲み取る。分からないことはすぐに質問して、間違った理解をしないよう注意する。

物事の全体を把握すること

全体を把握することで、必要な情報を的確に取捨選択し、物事の順序や筋道を立てやすくする。

能動的であること

自分がその物事にどう関わっていくか、能動的に問い直すことで物事の本質を掴むことができる。

本大学で実践している基礎デザイン教育の根幹は、これらを学修し身に付けることにありと考えています。

8. おわりに

デザインの思考という用語が、ビジネスの現場でよく使われるようになりました。ビジネスにおけるそれは、問題解決や、イノベーションのための手法であり、差別化・シンプル化を図るための手法です。デザイナー、非デザイナーに関係なく、この思考を取り入れることで、それぞれの活動におけるアドバンテージを得ることができます。今回、「女性の健康とライフスタイル」という題で研究に取り組むにあたって、本大学での「基礎デザイン課外ゼミ」での活動を、生活環境や仕事環境と照らして、心身の健康という側面から考える機会をいただきました。心の健康を保ちながら生活するための一つの手段としての「デザイン教育メソッド」を学び、自身の生活に取り入れることこそ、生活観、仕事観、人間関係を捉え直し、人生を豊かにする手がかりを得ることに繋がると信じています。筆者ら自身もまだ発展の途中であり、今後も基礎デザインメソッドの実践を通じて、その有用性を実証し、本大学独自のデザイン教育メソッドの確立と普及を目指しています。

本学での「デザイン教育メソッド」の活動に共感して、近隣の工科大でも同様の試みがスタートしています。地元企業の支援（資金提供）を受けたその活動は、新しい形の「産学連携」を形成しており、本学も講師派遣や基礎デザイン課外ゼミ経験者の参加という形で参画しています。おわりに、本活動に対し「学長裁量経費」の資金援助を頂いた、前学長の加屋野洋先生に謝意を表するとともに、2017年11月9日に逝去された先生のご冥福をお祈り致します。

参考文献

- 1) 厚生労働省「新規学校卒業就職者の在職期間別離職状況」
- 2) 阿部祐太「バウハウスとは何か」アベ出版株式会社、2018
- 3) 三井秀樹「美の構成学」中公新書、1996

- 4) 篠原久美子『基礎デザイン教育のための視的技法の定量化に関する研究』H19年3月山口大学大学院理工学研究科博士論文
- 5) 木下武・大村久美子『平面コンポジションの基礎』大学教育出版、2011



第7章

「生きたシステムの科学」から見た女性の健康について

— ロウソクの科学と健康 —

1. はじめに

皆さんは、学校に行くのは何のためですか？何を学ぶために学校に通うのでしょうか？こんな質問に対して、最近読んだ本（『ミライの授業』：瀧本哲史著¹⁾）に素晴らしい答えが示されていました。それは、「未来を創る「魔法」を学ぶためです”。なるほど、と思いました。21世紀の現代の最先端技術、それは宇宙ロケット、ジェット旅客機、自動運転の自動車やロボットにAI技術はもちろんですが、身近なインターネットやスマホも、今から150年前の明治維新の時代には無かった「魔法」のような技術です。当時のアメリカの黒船（蒸気船）や大砲も江戸時代の人々を驚愕させる技術だったはず。こうした最先端の技術を生み出してきた偉人たちは、それぞれの時代に発明・発見した様々な手法（数学、ルール、仕組み、統計学等）で未来を変えて来たのです。その基本は、多かれ少なかれ学校で学んだことが役立っていたはず。特に、歴史上の人物たちが如何にして未来を創ってきたかを知ることは、次の未来を切り拓く皆さんにとって意義深いと思われ。ここでは、20世紀後半からの60数年間に展開されている「生きたシステムの科学」に触れ、未来を創る皆さんへのメッセージとなればと考えます。

ところで、男性でありながらこのテーマのエッセイを書くのは、多少とも気後れしますが、今までの人生経験の中で得た知識と知恵を総動員して、21世紀のサイエンスの視点で述べてみようと考えています。サイエンスの専門用語

は多くの読者には耳障りかと思われるかもしれませんが、最初に結論を現代科学の言葉でまとめておきたいと考えます。すなわち、サイエンス的な表現を用いれば、本エッセイの結論は次のようになります。

- ① 人間は生きたシステムの一員であり、非平衡・開放系という特殊な条件の下で一過性の現象として自発的に発生（創発）する特殊な秩序構造（散逸構造）と見なせる。
- ② 生きたシステムを健全に機能させ長く持続するには、開放系の特徴である「入力」と「出力」の量と質の確保と、入出力間のバランスを適切に保つことが必要である。
- ③ 入出力されるのは、物質（食べ物、糞尿等）やエネルギー（運動、力、熱）だけでなく、情報（感覚情報、言語・文章表現）が重要な要素として含まれる。
- ④ 健康の管理と増進という意味では、女性という「生きたシステム」に特異な周期現象やリズムの維持と、環境のリズム（四季や日変動）と生体のリズムとの同期の適切なコントロールや適応が重要である。

以下、耳慣れない言葉（専門用語：上記の太字の部分）を少しでも平易に解説しながら、これらの結論にたどり着く努力をしてみたいと考えます。

2. 生きたシステムの科学とは

そもそも、「生きたシステムの科学」とは何でしょうか？ このキーワードは、多くの方々にとって、馴染みのないものかと思われます。このキーワードに近い言葉は、蔵本由紀著「非線形科学」²⁾の中で紹介されています。非線形現象の科学は、従来の科学が扱ってこなかった生命現象や気象現象を含んでいます。「非線形」自体の説明も必要ですが、ここでは入力と出力の関係が比例関係にある現象（線形現象）以外のすべての現象と定義しておくにとどめ、後の「非線形現象とカオス」の所で再度取り上げたいと考えます（図7-3参照）。非線形科学は、21世紀の科学の中でも、ある意味最先端の研究で、一部の科学者が信奉するマニアックな領域なのかもしれません。それでは、そもそも、

従来の科学とはどんな科学だったのでしょうか？ それは「物質の科学」です。従来の科学では、生命の無い「物質」が主な研究対象でした。ニュートンの力学も、マックスウェルの電磁気学も、20世紀に生まれたアインシュタインの相対性理論や量子力学もすべて、生命の無い物質を対象とする科学（物理学）でした。なぜなら、その当時の科学では、生命現象は何か特殊な現象として、実験での再現・検証が可能な科学の対象とはみなされていませんでした。当時は、有名な唯物論（機械論）と唯心論（生気論）との対立あるいは実在論と観念論との対立が真剣に議論されていました。もちろん、今でも靈魂の存在や観念論を前提とする宗教はあります。唯物論では、精神や心（意識）の根底には物質があると考えます。反対に唯心論では、物質を動かすのは精神の働きだと考えるようです。すなわち、人間で言えば、精神と肉体が別のもので、精神が肉体を維持し操作していると考えます（二元論）。「死んでしまっても、精神と肉体は別にあり、肉体が死ぬことによって精神（靈魂？）は表現手段を失い、見た目はなくなったように見えるが、消滅したわけではない」と主張します。また、「精神とは人間が意識しているものだけでなく、無意識の動きも含め、見えない意思の力により、生命の体が作られているとする」とあります。唯物論では、「精神の働き無しに物質（肉体）が存在し、その肉体の作用により精神が表れる」と考えます。聖書が述べているような「神が万物を創造した」という考えは、まさに観念論と言えます。この意味で聖書の世界では、靈魂は不滅ですし、生命の進化という発想は無いようです。この唯物論と唯心論との論争は、18世紀のカント以来、哲学の発展とともに繰り返され、仏教とキリスト教との思想の違いの論争とも相まって³⁾、それぞれの立場で我田引水的な議論がなされることも多いようです。21世紀の「生きたシステムの科学」の発展や人間の「意識」の研究が進むに伴い、かなり様相が変わってくるのではないかと期待しています。

ニュートンが1687年に出版した『プリンキピア』（自然哲学の数学的諸原理）の中で解説した、万有引力の法則や運動方程式は、その後ニュートン力学（古典力学）として知られるようになり、天体の運動が予測できるようになりました。摩擦の無い真空中では、物体の最初の位置と速度が与えられれば、そ

の後の運動は半永久的に予測可能とされます。この未来予測技術（微分積分学という数学）という「魔法」の発見は、その後世界を席卷し、運命論的な世界観が人類に定着してしまいます。生まれてから死ぬまでの人の一生の命運が予測できるのでは？ と多くの人を迷わせるほど、ニュートン力学は強力でした。ただ、どんな科学の法則でもそうですが、人が考えた理論や哲学は、その理論の成り立つ条件（環境）の範囲内のことなのです。この点を誤解すると、大変なことになります。質量を持つ物体の運動速度が光の速度に近づけば、ニュートン力学ではその運動を正しく表現できません。物体の速度は、光の速度を超えることができないのです。そこで、アインシュタインの発見した「相対性理論」が必要となります。物質が極端に狭い空間に閉じ込められた場合には（例えば原子核の周りの電子の運動などですが）、やはりニュートン力学は通用しません。電子は粒子ではなく、波や雲のような確率的な存在となります。ここでは、アインシュタインが提案した「量子論」を発展させ、1940年代に完成した「量子力学」の知識が必要となるのです。

3. 森羅万象

生きたシステムの例を挙げてみます。生命体はもちろんですが、竜巻・台風・地震などの気象現象をはじめ、膨張する宇宙を含む自然界の森羅万象のほとんどが、生きたシステムなのです。身近な草花や季節の移ろい、鹿威しの打音やろうそくの燃焼も、そして温暖化の進む地球自身もそうです。これらは、矢の如く一方向に進み決して戻ることの無い現象、すなわち「時間の矢」のある現象です。覆水盆に返らずの世界の森羅万象です。こうした身近な自然現象に注目した最初の日本人は、寺田虎彦です。“震災は忘れた頃にやってくる”との諺も虎彦由来と言われています。彼のエッセイ集の中の、「茶碗の湯」「線香花火」「金平糖」「津波と人間」などなど、多くの話題が、当時の科学がまともに扱えなかった題材に光を当て、研究テーマとしての面白さを伝えていきます⁴⁾。筆者自身も「みそ汁の対流パターン」という題材で解説記事（1998年バリティ8月号）を掲載して頂いた記憶があります。「山を越え流れゆく雲、風にそよぐ

草花、生きとし生けるもの、そして身近な森羅万象の多くは、従来、物理学の対象ではなかった。“みそ汁の対流パターン” もしかりである。」と書いています⁵⁾。みそ汁対流の研究家ではなかったのですが。筆者の研究対象は、化学反応でした。それは、ペロソフとジャボチンスキーというロシアの化学者が発見した、振動する化学反応や次々と化学反応の波が伝播する特殊な現象です⁶⁾。化学反応が振動するというペロソフの発見（1951年）は、当時の化学界の常識ではなく、投稿論文は学会に受け入れられませんでした。ジャボチンスキーはこれを再発見し（1961年）、類似の物質と触媒を用いて鮮明に可視化し、振動反応溶液をシャーレーに展開したときに生ずる化学反応の波（化学波）の持続的な伝播を見いだします。筆者の研究は、その化学反応波に随伴する流体現象が対象でした。

時間の経過とともに、化学波がシャーレー全体に広がると（図7-1参照）、やがて生きた心臓の鼓動のように「周期的に振動する流れ」が発生し、リズムを刻み始めます⁷⁾。そしてその振幅が成長し、一定の継続時間後に減衰（老化）し、やがて死（反応の終了）を迎えます。発生、成長、老化、そして死と対応できるこの現象は、生命のあるシステムに似た挙動を示すのです（図7-2参照）。その振動流発生メカニズムは未だ解明できてはいません。化学波のフロントに存在する表面張力の勾配と周期的な化学波の伝播がこの現象のキーポイントと思えます。話がかなり専門的になってしまいました。これ以上の深入り



図7-1 化学波の周期パターン

は避けましょう。でもこの振動流を最初に見つけた時の感動は、化学波の空間的な周期パターン（図7-1参照）を見るたびに今でも蘇ってきます。それは、1987年の東西冷戦終了直前のマックスプランク研究所（西ドイツ・ドルトムント）での、クリスマス・イブでした。この現象との出会いは、その後30年近くに亘り、筆者の研究人生を楽ませてくださいる大事件だったのですが。

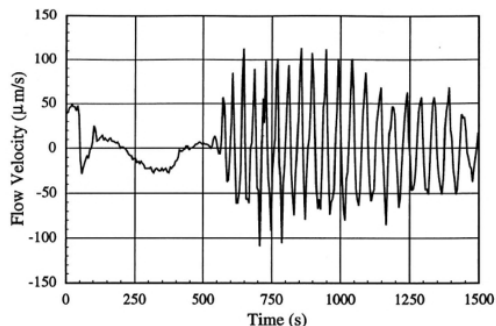


図7-2 化学波に伴う振動流の発生・成長・減衰

4. 新しい科学の常識：非線形現象とカオス

生きたシステムの研究が本格的にスタートしたのは、1960年代からです。サイバネティクス（1960年代）、カタストロフィ（1970年代）、カオス（1980年代）、複雑系（1990年代）、そして創発現象（2000年代）という最先端の科学の新領域が次々に出現しました⁸⁾。いずれも生きたシステムの科学に含まれる重要な領域です。これら各領域に共通する概念は、「非線形系」および「非平衡開放系」です。「複雑系」「カオス」という言葉は聴かれたことがあるかもしれません。映画ジュラシックパークで登場する数学者イアン・マルカム博士は、テキサスの数学者で、複雑系やカオス理論の専門家として紹介されます。彼は、「自然への畏敬の念を忘れ、神の真似事をしようとするジュラシックパークの複雑なシステムは、必ず破綻する」と主張します。この中で、カオスの「バタフライ効果」の説明を、マルカム博士が力説する場面が印象的でした。バタフライ効果は、カオス現象の初期値鋭敏性を比喩的に表現しています。ニューヨークで蝶が羽ばたくと、その影響が遥か遠く離れたフィリピン沖での台風の発生に繋がる？ かなり誇張的な表現ですが、カオス現象の初期値鋭敏性を説明するには分かりやすい喩えです。この由来は、エドワード・ロー

レンツが1972年にアメリカ科学振興協会で行った講演のタイトル「予測可能性：ブラジルの一匹の蝶の羽ばたきは、テキサスで竜巻を引き起こすか？」だと言われています⁹⁾。ブラジルがニューヨークに、テキサスの竜巻がフィリピンの台風置き換わっていますが、喩えですので、よしとしましょう。

対流や流れのある系では、その流れの運動を記述する方程式は、必ず非線形の項を含みます。変数を x としますと、 x^2 や x^3 の項を方程式に含むのです。皆さんがよくご存知の、直線の式 $y=ax+b$ は、変数が x （入力）で、 a 、 b を定数とすると、出力 y が変数 x の一次の項のみで表現されています。この場合の出力 y の振舞いは線形現象となります（図7-3）。例えば、抵抗体に導線で乾電池をつなぎ電圧 E (V)をかけますと、抵抗体には電流 I (A)が流れます。このとき、抵抗体の電気抵抗値を R (Ω)としますと、 $I=E/R$ の関係式が成り立ちます。 $1/R$ が比例常数で、入力 E を横軸に出力 I を縦軸にとれば直線的な関係を示すグラフが得られます。この現象が線形現象です。非線形現象は、こうした線形現象以外のすべての現象を指します（図7-3参照）。自然界を含み、皆さんの身の回りで起きている現象のほとんどは非線形現象です。その中でも、非線形現象の特徴が最もよく顕れ、「魔性」を帯びてくるのは、非線形の振動子やその同期現象です。心臓の安定なリズムの維持は、まさにこの非線形振動のお蔭です。強烈な電気ショックにより、弱った心臓を蘇らせ安定

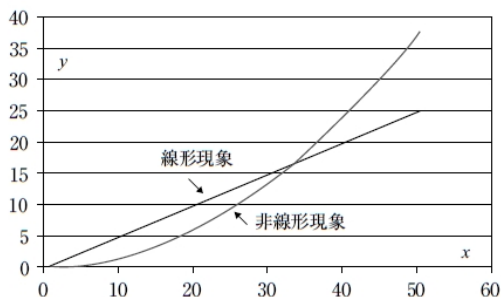


図7-3 入力 x と出力 y が直線関係にある線形現象とそれ以外の非線形現象の例

なりズムに戻せるのも、心臓という振動子が非線形性を持つからです（図7-4 (b) 参照）。

また、蛍の集団点滅の同期現象も、昔は自然界の七不思議の一つだと思われていました。指揮者も誰もいないのに、あれほどまでに見事な発光の同期や発光現象の伝搬が起こるのは、まさに「神秘」な現象だったわけです。しかし、生きたシステムの科学の研究が進むにつれ、そうした現象は神秘でも魔性でも

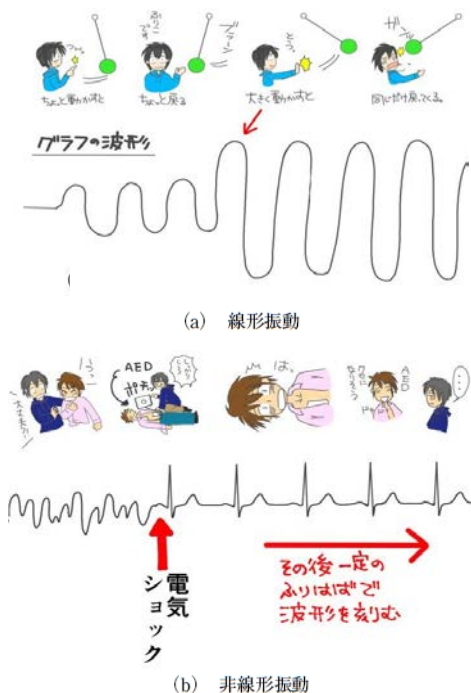


図7-4 線形振動と非線形振動の違い

(a) 線形振動の代表である振り子は、外から刺激を加えると振幅が変化する、(b) 心臓のリズムのような非線形振動では、外部の刺激により本来の一定振幅のリズムが戻る。

なく、数式という科学の言葉で表現され、計算機シミュレーションで可視化できるようになっています。非線形科学の研究は、従来の自然に対する人間の理解を大きく変えつつあるのです。21世はまさに、こうした新しい科学の時代なのです。生命現象には物理・化学の法則では説明できない独特な生命の原則（活力）があるとする「生氣論」や「觀念論」は必ずしも必要ないのです。この話の具体例は、後ほど「非線形振動と同期」で取り上げることにします。

非線形のシステムでは、そのシステムの自由度が3以上（変数 x 、 y 、 z のよりに3個以上）になりますと、カオス現象が観察される可能性が出てきます。地球大気の大気対流モデルを提案した、ローレンツ方程式（図7-5参照）では、わずかな初期値の違いにより、十分時間が経過したときの解はまったく違ったものになることが知られています（ローレンツ・カオス）¹⁰⁾。すなわち、初期値が与えられても、外部からのわずかな擾乱により、未来は予測不可能となります。ローレンツ方程式は、ニュートンの運動方程式と同じような決定論的な方程式ですので、本来は未来予測が可能はずです。しかし、この系にわずかの外乱が加わると、長時間経過後には予測された解とはまったく違った解となっているのです。この意味で、天気予報の長期予測は原理的に不可能と結論されます。明日、明後日の天気予報はある程度確度が高いのですが、1週間後ともなるとあてになりません。この原因はやはり、系（方程式）の非線形にあります。このモデルでは、 x^2 や y^2 の項はありませんが、代わりに xy と xz の項があり非線形性を担っています。このように、決定論的な方程式で記述できる現象でも、未来予測が不可能となる混沌とした現象を「カオス」、より正確には「決定論的カオス」と専門家は呼んでいます。カオス現象に関係して、新しい生きたシステムの科学は次のような2つの常識（呪文）を教えています。

- ・常識1：自由度3はカオスを創る¹¹⁾。
- ・常識2：バタフライ効果でカオスの世界（この世）の未来は予測不可能。

モデルはいわゆる微分方程式で書かれていて、数式アレルギーの方は見たくもないかもしれません。ただ、モデルが主張していますのは、 dx/dt のような項が物理量 x の時間変化の速さを表し、それが x や y の存在量に比例して増え

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -px + py \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}$$

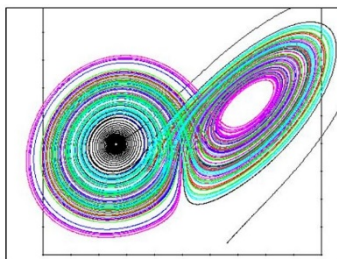


図7-5 ローレンツの大気モデルとカオス状態を示す奇妙なアトラクター ($p=10, r=28, b=8/3$)。

たり減ったりすることを意味します。例えば、 x は温度、 y は風の速度、 z は湿度に対応すると解釈できます。また、アトラクターとは、方程式で示される力学系が時間発展する集合（軌道）を表します。初期値が x, y, z の3次元空間の何処からスタートしても、時間経過と共にこのアトラクターに捕まっていくのです。しかも単純な円形軌道ではなく、複雑な形をしていますので、奇妙なアトラクターと呼ばれています¹²⁾。

最初の常識は中々興味深い内容を含みます。女三人よればかしま（姦）しいとか、三人よれば文殊の知恵とか、三人兄弟は手がかかる、などなどです。自由度（独立した変数）が3つあれば、世の中が混沌となるのか、あるいは、その中から何かの秩序が生まれるか、人の世相を反映して含蓄のある呪文です。変数が2つ、すなわち自由度が2の非線形系では、極限軌道（リミットサイクル）と呼ばれる閉じたアトラクター（力学系の位相空間上に表現される軌道の集合で、初期値によらず系の状態が時間発展と共にそこに引き込まれていく）による周期現象は存在しますが、カオスは出現しません。この周期現象が非線形振動の安定な振幅のリズムを保証します。図7-5のように変数が3つ以上になると、カオス現象が観測される可能性が出てきます。ローレンツモデルは、比較的単純なシステムですが、その変数の軌跡は奇妙なアトラクターを形成し、軌道は閉じることなく、3次元空間の中のある領域にとどまってい

す。そして、2番目の常識は人類への救いの呪文かもしれません。17世紀のニュートン力学の「運命論」の呪縛から人類はようやく解放されたとも言えます。その間、実に300年近い時間が流れています。科学者の責任は重いのです。さらに、あなたの小さな行動（蝶の羽ばたき）であっても、世界を変える（台風の発生）程の現象が現れる可能性があると言います。未来はあなた自身が割れるのです。ほんのちょっとした選択の違いが、あなたの未来に決定的な違いを生むのも確かです。人生の岐路のすべての機会に、誠を尽くして努力し、行動する必要があるようです（至誠励業）。

5. 熱的な平衡と非平衡

生命の無いシステムの安定な状態の特徴は、「熱平衡」状態として表現されます。例えば、皆さんが冷たい水の入ったコップに熱いお湯を注いだときのことを考えてください。冷たい水は10℃、お湯は70℃としましょう。水とお湯の量が同じであれば、両者が交じり合って、最終的にはほぼ40℃程度の温度に落ち着きます。この最終状態が、熱的に平衡で安定な状態（熱平衡）なのです。その途中は、すべて「非平衡」状態です。非平衡状態では、絶えず熱の移動（拡散）や物質の流れ（対流）が存在します。お湯と水を混ぜたときの混合対流や、温かいお湯がコップの底に移動した場合に働く浮力による対流や、温かい水と冷たい水の表面張力の違いによる対流など、様々な対流発生メカニズムが働き、コップの中の水は不安定で移動し続けます。最終的に、全体の温度が均一になったときに、物質の移動も熱の移動もない、平衡状態が訪れます。もし、コップが理想的な魔法瓶に入れられているとしますと、この状態から変化することはなく40℃の状態が保たれます。この状態は言わば熱的な「死」の状態とも言えます。ですから、

- ・生きたシステムは、その中に物質や熱の流れが存在し、熱的に「非平衡」の状態にある。
- ・死んだシステムは、熱的に「平衡」の状態にあり、物質や熱の流れはない。

と表現できます。そこで、改めて考えてみますと、例え生命の無い物質系（海や大気など）であっても、その物質系の中に密度や温度分布の不均一があれば、流れが発生します。また、たとえ流れの発生がなくても、熱の移動は「拡散現象」により発生し、系全体をできるだけ均一にしようと変化し続けます。こうした熱や物質が移動し続ける系は「生きたシステム」であると言えます。このシステムの特徴は、熱や物質の移動をより効果的に行うために、新たな秩序構造を創発する可能性があることです。「創発」とは難しい言葉ですが、具体例をあげれば、地球大気の中に一定条件下で自然発生する、竜巻や台風のような生き生きした現象の発生をさします。雨や雪や雷のような気象現象自体も創発現象なのです。

地球のように、太陽のエネルギーを吸収し、その中に多様な流れの構造が現れながら、余分なエネルギーを海や陸から大気、そして大気から宇宙に向かって放出し続ける系は、外に向かって開かれた「開放系」と言われます。熱もエネルギーの一形態ですが、電気、光、物質、運動、重力、熱とその形態を変化させ、太陽からのエネルギーは地球の陸地と海洋、そして大気に吸収されます。そのエネルギーは海流や上昇気流を生み、活発な地球対流圏での多様な気象現象を創発し続けているのです。地球はエネルギーと物資の流入と流出が絶えず続けられている「開放系」なのです。しかも、地球には「生命体」という特殊な「非平衡・開放系」が生まれています。生命体は、まさに魔法のようなシステムです。すなわち、生きたシステムの特徴は、以下ようになります。

- ・活発な生きたシステムは、熱的な平衡から遥かに離れた非平衡状態にある。
- ・多様な秩序構造を創発し続ける生きたシステムは、外に開かれた開放系である。

6. エントロピー増大の法則

ところで、なぜこのような複雑な現象が自発的に起きるのでしょうか？ まして、生命のように複雑で精巧な進化するシステムを地球上に自然発生させる必然性はあるのでしょうか？ これは永遠の謎なのかもしれませんが、以下のように考える科学者もいます。その話の前提として、説明が必要な概念「エントロピー」があります。これは、20世紀前半までの科学、特に「統計熱力学」という物理学が確立した概念です。大学のときに初めて遭遇したこの言葉は、最初は理解し難い概念の一つでした。平たく言えば、**エントロピーは無秩序さの度合いを表現しています。**

一つ例を挙げてみましょう。水を張ったビーカーに赤インクを一滴落とした状態を考えてみて下さい。落とした瞬間は、赤インクと水は未だ混じりあってはならず、インクの粒子はビーカーの特定の場所に集中しています。時間が経つと赤インクの粒子は全体に広がり（拡散現象）、やがて均一になっていきます。最終的には一様な薄いピンク色の溶液となるでしょう（図7-6参照）。この時、インクが1カ所に集まっている状態の数は一つですが、均一に広がった場合には非常に多くの状態の数があることが想像できます。仮に、各インクの粒子が区別できるとしますと、粒子数 N の階乗（ $N! = N \cdot (N-1) \cdot (N-2) \cdots 2 \cdot 1$ ）通りもの状態数が存在することになります。粒子数が大きければ、 $N!$

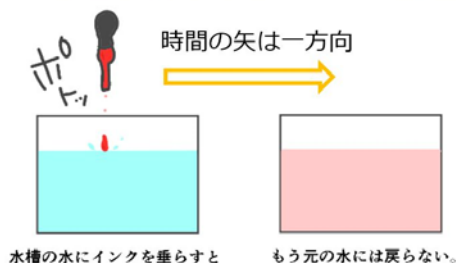


図7-6 エントロピー増大の法則

は天文学的な数字となります。この状態の数の対数を「エントロピー」と呼び、系の無秩序の度合いを表します。すなわち、状態数が1であれば、その対数（= $\log 1$ ）はゼロとなり最小です。一般に、秩序のある状態の数は小さく、無秩序になるほど状態の数は飛躍的に増大します。この意味で無秩序な系はエントロピーが大きいのです。また、赤インクのピーカー内での広がりの具合は、インクが1カ所に集まったエントロピーの小さな状態から、全体に広がったエントロピーの大きな状態へと変化します。いったん広がってしまえば、1カ所に集まっていた元の状態に戻ることは決してありません。非可逆的な変化が起きるのです。この意味で、系のエントロピーは常に増大する方向に変化する現象しか自然界では観察されません。ビデオでそれとは異なる状況が映し出されているとしますと、それは時間を逆向きに再生している場合のみです。このエントロピー増大の法則は、自然界の大原則ということになり、これが決して元に戻ることはない、非可逆な「時間の矢」の正体です。「覆水盆に返らず」は、エントロピー増大の法則と同じ意味になります。

もし、自然界の大原則が秩序から無秩序に向かう「エントロピー増大の法則」だとすると、地球対流圏で発生する竜巻や台風の渦（一種の秩序構造）が発生する理由が理解できません。綺麗に並んだ鱗雲や虹はもちろん、何より生命の出現する必然性や法則はあるのでしょうか？ これはこれで難解な問題です。観念論の立場に戻って、神の存在を仮定しないと理解できない問題でしょうか？ もし、生命の起源の問題を唯物論的立場から解く人があるとすれば、間違いなくノーベル賞だと確信します。ただ、この永遠の課題も、生きたシステムの科学の立場に立てば、以下のように解釈できる可能性があります。すなわち、

- ① 自然界あるいは宇宙全体はエントロピー増大の法則に従っている可能性はある。これは、130億年前のビッグバンに始まり膨張し続ける宇宙の進化の方向性とも一致する。
- ② 宇宙や地球のような非平衡の開放系では、その非平衡の度合いが大きくなる条件下では散逸構造の創発という秩序形成が進み、エントロピーは局所的に減少する場合がある。すなわち、全体系としてエントロピー

は増大する傾向にあるが、その系の一部の局所な領域では、エントロピーが減少できる状況が実現され、部分的な秩序形成は進む。

- ③ 宇宙の進化を含む自然界の森羅万象が、生命や各種の秩序構造を発生させる必然性は、系全体のエントロピーの増大をより効果的に促進するためであるとも考えられる。
- ④ 生命進化の最先端に位置すると考えられる人間の脳も、「意識」という特殊な秩序状態を創発し、宇宙や自然界のエントロピーの増大をより高効率に推進する役目を担う。
- ⑤ 意識は、人間の脳への情報の入力と出力の流れが十分大きく、熱平衡から遠く離れた状態 (Far from Equilibrium) で創発される散逸構造とも理解できる。

7. ロウソクの科学と散逸構造

熱平衡から遠く離れた非平衡の開放系では自発的な秩序が創発されます。1977年にノーベル化学賞を受賞したイリヤ・プリゴジンはこれを「散逸構造」と呼びました。エネルギーを絶えず散逸しながら保たれる秩序構造と解釈できます。散逸構造の概念は、生命現象や気象現象だけに留まらず、社会構造や経済現象にいたるまで、人間も含む自然界の諸現象の多くに適用され、非平衡の開放系に自己組織的に創発される広い意味の秩序構造であると言えます。この自己組織的というのがポイントです。条件さえ整えば、ひとりでに秩序を持った構造が出現するという意味です。台風や竜巻も、自然の環境条件が整えば発生します。海水の温度や風の強さと向き、そして気温や湿度などの気象条件が、上昇する水蒸気や発達する雲に影響を与え、ある閾値となる条件を超えた時に台風や竜巻となって姿を現すと考えられます。人工的に創られるものではなく、まして神のご意思でもなく、環境条件が整えば出現します。この条件とは、やはり熱平衡状態から遠く離れていること（非平衡の度合いが大きいこと）が基本です。寒気と暖気の大きな温度差、海水の温度と海面の気温差などが影響します。

また、こうした系で観測される現象の大きな特徴は、非可逆な時間の流れを示すことです。すでに述べてきました、覆水盆に帰らずの世界です。時間は一方向にしか進まないことを「時間の矢」と表現しますが、散逸構造の観測される世界はこの意味で「諸行無常」の世界です。永遠不変のものは、この世には何一つ存在していません。だからこそ人は不変の真理や愛を求めてさまよふのかもしれませんが、ろうそくの炎がやがて燃え尽きて消えるように、すべての現象には終わりがあります。



図 7-7 M. Faraday

電磁誘導の法則の発見で有名なマイケル・ファラデー（図 7-7、付録図）は、1861 年のクリスマス講演で、「すべての現象は終わりが来るが、皆さんの時代が来たとき、1本のロウソクのように、周囲の人々の光となって輝いて頂きたい」と述べています。ファラデー 70 歳の時でした。このクリスマス休暇中の



図 7-8 現代のオイルランプ（すおうらんぶ）

ファラデーの6回の講演会の記録は、後に *The Chemical History of a Candle* として出版されています。日本語訳の『蠟燭の科学』は1933年に岩波文庫から出ています¹²⁾。その序文でウィリアム・クルックスは、「人間が暗夜にその家を照らす方法は、ただちにその人間の文明の尺度を刻む。…(中略)…すべての灯火は人類の愉楽、家庭愛、勤労、そしてまた信仰にいかにか奉仕したかを語って、我々の心をあたためてくれるであろう」と書いています。原始時代のたき火や松明に始まり、中世のロウソク、オイルランプ(図7-8参照¹³⁾)、近世のガス燈、そして20世紀が生んだ電灯、蛍光灯を経て、21世紀の現代ではLED(Light Emitting Diode)が、それぞれの時代の文明の尺度となってきました。

ファラデーは、『蠟燭の科学』の冒頭で、次のように述べています。「自然科学の勉強の入り口として、1本のロウソクの物理現象を考えるほど、打ってつけな、入りやすい入口はない。」これは、先見の明のある言葉です。ファラデーに始まるロウソクの科学の研究は、付録に示しているように3つの時代を通して、絶えず新しい概念を提供し続けています。身近にあるロウソクの燃焼が、それぞれの時代に応じて、こんなにも奥深い科学的知見を提供しているというのは、真に驚異的なファラデーの洞察力と先見性といえます。

8. 非線形振動と同期：蛍やロウソクの集団同期の謎

ところで、ロウソクの燃焼を「生きたシステムの科学」の立場から捉えた時、興味ある現象が1999年日本人の化学者石田隆宏・原田新一郎の両氏により発見されています¹⁴⁾。小さなロウソク1本では炎の形はほとんど変化せず静かに燃えているのですが(図7-9a)、2本以上束ねて燃やしますと、突然炎が伸び縮みを始めます(図7-9b, c)。この伸縮は、図7-10に示していますように約1秒間に10回という炎の規則的な振動現象として観測されます。なぜ振動数が10Hz(サイクル/秒)なのかは今でも説明はついていませんが、ロウソクの静かな燃焼という「非平衡・開放系」の現象が、束ねるロウソクの本数を増やしたことで「非平衡」の度合いが大きくなり、炎の振動という新たな

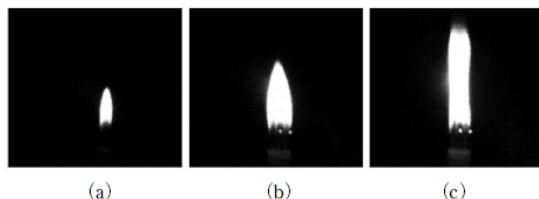


図7-9 1本のロウソクの静かな燃焼 (a) と、3本束ねたロウソクの炎の振動現象 (b, c)

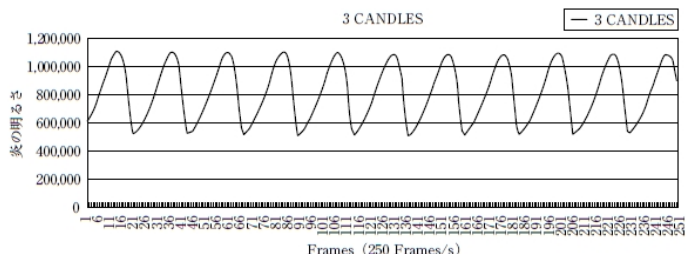


図7-10 高速ビデオで捉えたロウソクの炎の振動現象。約1秒間に10回の規則的な振動波形が観測される。波形は正弦波ではなく、非線形現象であることが確認できる。

創発現象を引き起こしているわけです。時代劇の映画の中で和ろうそくの炎が風もないのに揺らめく様子が映されることがありますが、恐らく類似の現象が生じている可能性が考えられます。和ろうそくは芯が大きく、しかも中が中空ですので、炎が大きくなる構造をそれ自体が持っているようです。

この石田・原田両氏の発見に触発され、日本の非線形科学の若手研究者たちが協力して、この現象の解明とその発展に努力しています。実験と理論の両面から、化学者、物理学者、数学者、そして情報科学の研究者が共著論文執筆を行い、J. Phys. Chem. A という、国際論文誌に掲載されました¹⁵⁾。実験データは、その雑誌の表紙カバーを飾りました。Nature や Science という一流雑誌には採用されませんが、欧文雑誌のカバーを飾ったことは、内容の重

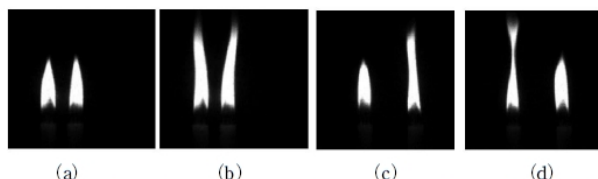


図7-11 周期振動するろうソクの炎を近接させた場合の同相同期現象 (a, b) と、少し離れた場合の逆相同期現象 (c, d)。ろうソク振動子間の距離を適切に保つことで、炎の伸張を交互に繰り返す逆相同期現象が観測できる¹⁵⁾。

要性ととも、若手研究者たちの連携においてある種の達成感をもたらし、その後の各研究者の研究発展に繋がったと考えています。

図7-11は、その共同研究成果の一部です。3本のろうソクを束ねた振動するろうソクの炎を近接させた場合には、2束のろうソクの炎は同期して燃え上がり(図中、(a)、(b))、ろうソク間の距離を適切に保った場合は、炎の伸張を交互に繰り返す(図中(c)、(d))という、新たな振動モードが出現します。この同期的な炎の燃焼現象も、非平衡・開放系に自然に(自己組織的に)形成された、一種の創発現象として捉えることができます。特別な指揮者や、制御者を必要としないシンクロナイゼーション(同期現象)が発生するのです。こうした、自然界の振動子の同期現象は、当初は、自然の神秘や不思議としてサイエンスの対象とはなっていませんでした。東南アジアの蛍の集団発光と同期、心臓のペースメーカー細胞の同期、女性の月経周期の同期、柱時計の振り子の同期、ポケモンを見ていた子供たちの集団発作、などなど数多くの事例が知られるようになり、自然界に創発する時間的秩序の多くが、同期現象から生まれていることが分かっています⁸⁾。自然の「神秘」の理解には、やはり「生きたシステムの科学」の知識が必要なのです(付録参照)。

その中で、大きなブレークスルーをもたらしたのは、アーサー・ウインフリーでした。ウインフリーは1967年の論文の中で、振動子集団の同期現象と、水が凍って氷になるような「相転移」現象との類似性を述べています¹⁶⁾。水が氷になる現象は、「生きたシステムの科学」の対象ではなく、むしろ生命の無

いシステムの変遷を説明するいわば古典的「統計物理学」の問題です。固体が液体に、液体が気体に、気体がプラズマ状態に相変化するの、系の温度、圧力、体積等に規定された、物質の集合状態の変化です。磁性体が磁石に反応しない高温での常磁性状態から、低温での強磁性状態に相変換し、磁石に強く引き付けられるような質の変化が起きるのも、類似の現象です。温度という量が変化するだけで、水から氷へ、あるいは常磁性から強磁性へと質が変化します。これを「量から質への転化」と呼ぶこともあります、自然界によく見られる現象の一つです。春になれば、雪が解けて、雪解け水が田畑を覆います。冬になれば、池の水が凍り、子供たちはスケートを楽しむことができます。こうした現象と、時間的な秩序の形成としての「同期現象」の発生とが類似しているという、まったく新たな視点をウインフリーは提案したのです。

ここでは、これ以上に踏み込んだ話はしないつもりですが、このウインフリーの提案を簡易モデル化して取り上げ、その厳密解を導いたのが日本人物理学者の蔵本由紀です。この非線形振動子の無限個の集団からなる同期現象の厳密解を提示したモデル（1975年）は、「蔵本モデル」¹⁷としてウインフリーにより紹介され、世界の研究者に知られるようになりました。その後蔵本氏は、日本の非線形科学の分野を牽引し、今でも数多くの啓蒙の著を出版し続けておられます。残念なことに、ウインフリーは、2002年に60歳の若さでこの世を去っています。

9. 生きたシステムの科学を通してみた健康の維持について

長々と述べてきましたが、「女性の健康」を考える上で、まずは人の健康の視点があると考え、その「ヒト」という特殊な生命体は、まさに「生きたシステム」の一員であることを意識して、このエッセイをまとめてみようと考えます。「ヒト」の健康の基本は、各個人の健康の問題ですので、各個人の遺伝情報がその個の特質を決定しており、各個人が自分の遺伝情報に意識を持つのは当然の成り行きかとは思いますが、現状は未だその状況にはなっていないようです。せいぜい、自分の家族・血族の持病や癌体質の有無を確認し、食生活に

注意することで、生活習慣病等の予防の参考としているのが実態のようです。

今回の話題では、特に生きたシステムとしての人体の特質に迫ることはしませんでした。その前に、もっと単純で身近にある自然界の「生きたシステム」を観察し、その単純なシステムの持つ特徴を理解することで、そのシステムを健全に保つ視点が、ヒトの新たな健康維持の視点になるのではと考えたわけです。かなりの飛躍がありますが、「生きたシステム」という共通の特徴が、まったく新しい健康法を考えるヒントとなる可能性を考えてみます。

まずは、「ヒト」を構成する内部システムが、多様な非線形振動子の集合体であることを意識する必要があります。思いつくだけでも、

- ① 心臓のペースメーカー細胞群のリズム同期、心筋細胞上の興奮現象の伝播による心臓のポンプ機能の実現
- ② すべての細胞の中で時を刻む「時計遺伝子」の存在と、その細胞間の同期による体内時計（概日リズム）の制御
- ③ 脳を構成する神経細胞自身が非線形振動子であり、認識・理解そして意識の創出自体が神経細胞やその巨大ネットワーク間での情報の入出力と同期制御の自己組織化現象として出現

などが挙げられます。最近では、人体の各組織が巨大ネットワークを構成し、ダイナミックな情報交換を繰り返していることが、ますます明らかにされつつあります（NHKスペシャル・「人体」）。このように、ヒトの体に注目した瞬間に、そのシステムの巨大さやあまりにも精巧な制御機構に目を奪われ、超複雑で巨大なシステムの機能を健全に維持する対策など、容易に思いつくはずもありません。基本は、何億年もの進化の果てに生命というシステムが獲得してきた恒常性の維持機能の中に組み込まれているのだとは直感します。よほどの暴飲暴食・過度なダイエットや睡眠不足、そして多大なストレス・疲労困憊が重ならない限り、システムは健全に動くように設計されていると信じられています。特に若くて体力のあるときにはそうです。ただ、それはそれでとても奇跡的なことだとも感じます。健康のありがたさは、健康を失ってはじめて実感できるものです。病気になってしまえば、「医学」という人類の技術と知恵が蓄積された巨大な「闇の世界」が待ち構えています。できればその世界には足

を踏み入れたくはないものです。

今回紹介させていただいた、身近でシンプルな自然界の「生きたシステム」の特性から推測できるシステムの健全な維持に必要な条件は、以下のように纏められるのではと考えています。

- ① 生きたシステムは、熱的平衡から十分遠く離れた非平衡の開放系の状態に保たれる必要がある。そのためには、絶えずシステムへの外部からの入力と、システムから外部への出力がバランスよく保たれている必要がある。入出力の量が減少し、その質が低下すれば、システムの機能低下や死につながる。
- ② システムへの入力とシステムからの出力は、物質・エネルギーおよび情報の流れを形成し、その流れのよどみのないことが重要である。すなわち、食物・飲料や空気（酸素）などの恒常性維持に必要な物質だけでなく、脳という特殊な情報システムの維持・発展に必要な情報の取得と発信がバランスよく、またタイミングよく行われる必要がある。
- ③ 「生きたシステム」の特徴は、未来永劫に続くシステムではなく、誕生・成長・老化・死と絶えず変化し続けながら、やがて終了する一過性のシステムである。我々がケアすべきシステムは、緩やかな時の流れの中で一瞬も留まることなく変化し続けるシステムであり、自分の一生を通じてそのシステムの健全性の維持に自分自身が意識して取り組むことが求められる。そのこと（自愛の心）が、自分の内なる自然への畏敬の念の表現であり、自分自身の持つ能力（天命）を全うする道であると思われる。
- ④ 特殊な非線形振動子の集団として形成されている「ヒト」の体は、太陽と月の恵みを受ける地球という「奇跡の惑星」の環境に創発した「生きたシステム（散逸構造）」と捉えることができる。その体は、地球の公転と自転のリズムの影響を強く受け、そのリズムとの同期が生体の持つ各種の振動子に求められている。睡眠や食事のリズム、働く時間帯のリズム、四季のリズムと自分の生体リズム（概日リズム）を意識した生活習慣などが必要と考えられる。

- ⑤ 女性の場合は、女性特有の生体リズム（月経・生理痛）やライフイベント（結婚・出産・育児・更年期・介護）と、キャリア形成や社会活動との折り合いを付けることが求められる。生活の質向上には、自分自身のバイオリズムを熟知し、睡眠や食事等の生活のリズムとの整合性や、四季の変化による光や温度のリズムの変化を意識した健康管理が必要と考えられる。

10. 米原万理の「愛の法則」からのメッセージ

今まで、「生きたシステムの科学」から見た健康法について議論してきましたが、肝心の女性の健康に関する話題にはほとんど触れていません。そこで、2006年に他界した作家・エッセイストそしてロシア語同時通訳でもあった米原万理の講演録「米原万里の「愛の法則」¹⁸⁾を紹介する中で、女性と男性の役割の違いや女性特有の人生の四期間仮説を紹介して、このエッセイの結びにしたいと考えます。

米原万理の卵巣がんが見つかったのは2003年の秋とされています。卵巣摘出手術後しばらくは元気な生活を続けた後、2005年2月頃に転移がんが見つかり、以後は壮絶な闘病生活となったそうです。米原は、1950年東京生まれで、少女時代にブラハのソビエト学校で学んだ経験もあって、ロシア語会議の同時通訳としても活躍しています。闘病生活のさなかの2005年6月末に石川県立金沢二水高等学校で行われた「高校生のための文化講演会」（北國新聞社・財団法人一ツ橋文芸教育振興会主催）での講演として「愛の法則」が語られています。その講演記録集18)の「本書に寄せて」の中で、池田清彦氏は、「米原の晩年のエッセイは、物書きとしての矜持が、病に対する絶望感をぎりぎりの所で凌駕している、一種スリリングな空間であったように思う」と述べています。「酷い体の状態とほうらはらに、米原の執筆活動は衰えを見せず、権力の卑屈さを糾弾する舌鋒は死の瞬間まで健在であった。深刻な自らの病状を記す時でさえ、筆致は常に乾いていて崩れることがなかった」とも紹介されています。こうした米原の姿勢は、死を意識しながらその直前まで前向きに自分の

使命を全うしようとした幕末の志士（吉田松陰、坂本龍馬、高杉晋作など）にも通じる強靱さと潔さが垣間見えます。明治・大正・昭和の時代を通じて、「大和なでしこ」を脱皮してきた「日本女性」は、平成の現代に「草食系の男性」が多くなる中、英雄・豪傑的な活躍をする女性が増え続けており、米原万理もそのような豪傑の一人だったとも考えられます。

「愛の法則」の講演の中で、米原はソ連の理論生物学者ゲオダキャンの学説「男はサンプル」を紹介し、その説を発展させた独自の仮説「女性の一生の四期間説」を展開しています。「男はサンプル」説は、「メスは量を担いながら質を追求する、オスは量を追求しながら質を担う」とも表現され、古典文学作品中の男性主人公と女性主人公の行動パターンの違いを紹介しています。世界的ベストセラーとなった物語の多くは決まって、主人公の男性が多数の女性を遍歴していく話が圧倒的に多いのです。世界最古の小説と言われている『源氏物語』でさえ、前半は主人公光源氏の女漁りの話です。それにもかかわらず、『源氏物語』は圧倒的に女性に人気があるのが不思議ですが。その逆のパターン、女性が男を漁る物語はベストセラーとはなっていないようです。女性が主人公の世界的名作といえば、『竹取物語』や『カエルの王子様』（グリム童話）が有名ですが、女性の幸せのパターンは「お姫様」という形であり、そのお姫様に沢山の選択肢があるというのが理想のようです。お姫様の婚選びに国中から若者を集めて技比べさせ、その中のいちばん優秀な男と結婚するというパターンです。産めない性の男性は、多数の女性漁りという「量」を追求しながら、最終的に女性から最も優秀という選択を受ける形で「質」を担っているのです。反対に産める性の女性は、子供の数という「量」を担いながら、最も優秀な男性を選択するという意味で「質」を追求しているのです。この意味で、男性と女性には明確な役割分担（分業）があると言えます。米原によれば、この分業は「オスが進化を先取り」していると解釈できるそうです。言い換えると、「進化の過程で人類という種が蓄えた遺伝形態を、メスは現状維持の方向に（保守的な方向）働き、オスは現状を変える方向（革新的な方向）に働いている」となります。背の高い男性がもてるのも、人類全体の流れから判断して、人間が大型化していることと関係しています。平均身長が女性より男性の方が高いことが、

使命を全うしようとした幕末の志士（吉田松陰、坂本龍馬、高杉晋作など）にも通じる強靱さと潔さが垣間見えます。明治・大正・昭和の時代を通じて、「大和なでしこ」を脱皮してきた「日本女性」は、平成の現代に「草食系の男性」が多くなる中、英雄・豪傑的な活躍をする女性が増え続けており、米原万理もそのような豪傑の一人だったとも考えられます。

「愛の法則」の講演の中で、米原はソ連の理論生物学者ゲオダキャンの学説「男はサンプル」を紹介し、その説を発展させた独自の仮説「女性の一生の四期間説」を展開しています。「男はサンプル」説は、「メスは量を担いながら質を追求する、オスは量を追求しながら質を担う」とも表現され、古典文学作品中の男性主人公と女性主人公の行動パターンの違いを紹介しています。世界的ベストセラーとなった物語の多くは決まって、主人公の男性が多数の女性を遍歴していく話が圧倒的に多いのです。世界最古の小説と言われている『源氏物語』でさえ、前半は主人公光源氏の女漁りの話です。それにもかかわらず、『源氏物語』は圧倒的に女性に人気があるのが不思議ですが。その逆のパターン、女性が男を漁る物語はベストセラーとはなっていないようです。女性が主人公の世界的名作といえば、『竹取物語』や『カエルの王子様』（グリム童話）が有名ですが、女性の幸せのパターンは「お姫様」という形であり、そのお姫様に沢山の選択肢があるというのが理想のようです。お姫様の婚選びに国中から若者を集めて技比べさせ、その中のいちばん優秀な男と結婚するというパターンです。産めない性の男性は、多数の女性漁りという「量」を追求しながら、最終的に女性から最も優秀という選択を受ける形で「質」を担っているのです。反対に産める性の女性は、子供の数という「量」を担いながら、最も優秀な男性を選択するという意味で「質」を追求しているのです。この意味で、男性と女性には明確な役割分担（分業）があると言えます。米原によれば、この分業は「オスが進化を先取り」していると解釈できるそうです。言い換えると、「進化の過程で人類という種が蓄えた遺伝形態を、メスは現状維持の方向に（保守的な方向）働き、オスは現状を変える方向（革新的な方向）に働いている」となります。背の高い男性がもてるのも、人類全体の流れから判断して、人間が大型化していることと関係しています。平均身長が女性より男性の方が高いことが、

進化の行く先を先取りしているのはオスの方だと言えるわけです。

この「オスが進化を先取り」という法則に一見反しているのが、人間の寿命です。現在、人類は年々寿命が延びる方向に進化しているように見えます。オスが進化を先取りするのであれば、男性の寿命の方が女性よりも長くなるはずなのですが、2016年の日本人の平均寿命は、男性80.98歳、女性87.14歳で過去最高となっています（日本経済新聞電子版、2017年7月27日）。男女とも香港に次ぎ世界第2位です。ただし、健康寿命は男性72.14歳、女性74.79歳となっており（ニッセイ基礎研究所レター、2017年8月12日）、その差は少し小さいようです。この矛盾の説明に米原は独自の考え方（仮説）で、明快に答えています。すなわち、誕生から死までの人間の一生が、女性は四期間に分けられるのに対して、男性は三期間しかないとするのです。四期間とは、受胎から誕生まで（第一期）、誕生から性的成熟まで（第二期）、繁殖能力を発揮する再生産期間（第三期）、そして老化により再生産能力を失って死に至るまでの期間（第四期）です。米原によれば、男性の場合、この第四期が無いが非常に短いのです。女性が閉経（45歳～55歳）で第三期が終了するのに対して、男性は70歳以上（人によっては90歳）まで第三期が続くのです。男性は第四期とは無縁の存在とも言えます。つまり、米原によれば「繁殖能力を失ってしまうと同時に寿命も尽きるといのが男の一生なんです」となり、「男という産めない性は、女との関係において人類としての使命を全うするという宿命を背負っている」と言えるようです。

表7-1は、上述の関係を米原の文章を参考に、少し恣意的に纏めたものです。数値はアバウトですが、男性と女性の一生における、各期間の長さの違い

表7-1 ヒトの一生の各期間における寿命の男女比較：米原万理の仮説¹⁸⁾

性/期	第一期 (受胎～誕生)	第二期 (誕生～成熟)	第三期 (繁殖能力期)	第四期 (閉経～死)
女性	9ヶ月	約12歳±β (β≒3歳)	10歳～55歳 (45年以上)	45歳～90歳 (30年以上)
男性	約9ヶ月+α (α≒2、3週)	約14歳±β (β≒3歳)	12歳～80歳 (約65年)	?

(各期の寿命)が見えてきます。第三期までを比べると、すべての期において男性の寿命が長いことが分かります。この範囲では「オスが進化を先取り」の法則は間違っていないようです。「今の人類の寿命は、この三期までの寿命が延びる方向で進化している」と米原は推測しています。

この第四期の有無と第三期の長さの違いが、熟年期から高齢期の男女間のトラブルや、家族の不安定化の要因になっているとも推察されます。女性特有の第四期は、女性が「次の世代を作るという人類の使命から開放されて自由になったとき」であり、「人として非常に楽しく生きるべきではないか、それが使命でもあるのではないかと、米原は独自の仮説を展開します。女性にとっては、特権的に人生の素晴らしい時間帯が与えられている期間だとも言えます。ただ、第四期への移行は、更年期という厳しい時期を経て達成されますし、その後の体のホルモンバランスの変化等に伴って、骨密度・筋力・体の柔軟性等の低下が歳を重ねるごとに進行します。このことを前もって意識・準備し、予防医学的な視点から継続的な運動習慣（ウォーキング、ストレッチや筋トレ）を身に付け、食習慣を改善することで、若さを保つ（あるいは老化を遅らせる）ことができると考えられます。人間の寿命が長寿化する中で、問題となっている認知症の予防も、こうした運動習慣の継続や食習慣の改善、さらには睡眠習慣や知的行動習慣により達成されるという報告もあるようです。

まとまりのないエッセイとなってしまいました。テーマ設定にも少し無理があったようですが、読者の皆様にとって、少しでも参考になる部分がありましたら幸いです。

付録 ロウソクの科学—3つの時代

1. 19世紀のロウソクの科学

マイケル・ファラデーは、1861年クリスマス・レクチャーの6回の講演¹²⁾で、容器を持たない固体の燃焼の不思議に触れ、①溶けたロウの容器となる炎の周りのカップが自然に形成される、②溶けたロウと芯の毛管引力により持続的な燃焼供給が行われる、③炎の熱が引き起こす上昇気流が、炎の伸長、空気の供給、溶けた燃料カップの冷却により連続的な燃焼が可能となるなどの知見を紹介しています。また、炎をあげて燃える物質（ロウソクの蒸気）と炎をあげずに燃える物質（炭素）の存在を示し、空气中で炎をあげて燃える物はすべて、燃焼により水を発生するとしています。ハゼの木の实か

ら作られる蠟ろうの主成分（パルミチン酸： $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ ）である炭素と水素のうち、炭素は空气中で燃えて二酸化炭素（気体）となります。ファラデーは、ロウソクの明るい炎の中には固体の状態たいたいで燃える物質（炭素）があることを示し、燃えて気体となる固体物質は炭素だけで、炭素が特別な存在であることを説明しています。一般に、固体の燃焼は炎をあげずに、その固体に特有の輝かしい色の光を放ちます（炎色反応）。花火の着色は、この固体燃焼の性質を利用したものです。ロウソクの特有の赤い色は、炭素の炎色反応の色だと言えます。また、ファラデーは、ロウソクの燃焼と体の中で起きている生きた燃焼（命）との類似性にも言及しています。植物は二酸化炭素（炭素）を吸収して生育し、地球上の CO_2 の循環を担っており、生きとし生けるもの同士の頼りあいが成立していると述べています。

以上のように、ファラデーはロウソクが熱せられて、固体・液体・気体と相



付録図 若き日のファラデー

変化することで連続的な燃料の供給を行っていると理解していました。また、その炎は固体の炭素が燃えて明るい光を放つとし、ロウソクの燃焼（酸化という化学反応）は外観、性質、組成の変化をもたらすと解釈します。まだ生気論が幅を利かせていた時代に、ロウソクの燃焼を、化学反応という視点で合理的に説明しようとする明確な立場が確認できます。

2. 20世紀のロウソクの科学

1994年ピーター・アトキンスは、その著書『Atoms, Electrons and Change』¹⁹⁾の中で、「自然は複雑だが、我々の理解を超えるものではない。物質のあらゆる変換は、「化学反応＝原子の配置換え」として理解できる」としています。この本の日本語訳のタイトルは『新ロウソクの科学—化学変化はどのようにおこるか』となっています。20世紀前半に確立された、「量子力学」というミクロの世界の新しい科学の視点で、ロウソクの燃焼（化学反応）を説明しています。そして、「化学反応の詳細な理解には、原子の理解と説明のパラダイムの転換が必要」として、古典的なニュートン力学から20世紀の新しい科学である量子力学への転換が必要と述べています。ファラデーが、「化学反応」＝「物質の変換」と理解していたのに対して、アトキンスは、「化学反応」＝「物質の内部構造の変化」とします。すなわち、化学反応の理解には、原子、分子中の電子の振舞いの理解が必要で、ミクロな世界の科学である量子力学の知識が求められます。例えば、ロウソクの炎の中では、炭化水素（ CH_2 ）とOHラジカルの衝突が起き、その衝突のエネルギーが閾値を超えれば反応が起きるとしています（ラジカルとは不対電子を持つ原子や分子、あるいはイオンのことを指し、フリーラジカルまたは遊離基とも呼ばれる）。また、炭素が燃えて放つ明るい光は、分子起動中の励起状態にある電子の基底状態への遷移として理解できるとします。ラジカル、不対電子、分子軌道、励起状態、そして基底状態と、専門用語が羅列されています。アトキンスの新ロウソクの科学の理解には、かなりの専門知識が要求されます。すなわち、ロウソクの燃焼（化学反応）の理解には、物質中の原子や電子の挙動をミクロなレベルで理解することが必要なのです。しかし、量子力学は大学の理学部や工学部の一部の学科のみで学

ばれている学問で、一般の方がその本質を掴むのは容易ではないようです。一方、ミクロなレベルでの燃焼に伴う物質の内部構造の変化の理解は進んだのですが、ろうソクの炎の持続的な燃焼という現象を「生きたシステム」として捉える視点はなかったようです。ろうソクの燃焼と気象現象を結び付けるような新たな視点こそ、21世紀の科学に求められている、人類の課題解決に必要な知恵と思われるのですが、この辺りが、物質の科学の限界と言えるのかもしれませんが。

3. 現代のろうソクの科学

蔵本由紀は、その著書『非線形科学』²⁾の中で「従来の科学は命を持たないものを対象に、デカルト的な近代合理主義精神（要素還元主義）に従った、分析的手法で物質を構成する原子・分子のミクロな世界から理解しようとする」と述べています。また、「生きた自然の理解には、分析・解析的な立場からは不可能である。複雑で柔らかなシステムの理解には、パラダイムの転換が必要」とも説かれています。この「複雑で柔らかなシステム」をここでは「生きたシステム」として議論しています。ここでのパラダイムの転換は、「物質の科学から、生きた創発現象の科学への転換」となります²⁾。この生きたシステムの科学の視点から「ろうソクの燃焼」を捉えた研究が、非線形振動と同期：蛍やろうソクの集団同期の謎（7章8節）で紹介した、1999年石田隆宏、原田新一郎の両氏により発見された東ねたろうソクの炎の振動現象¹⁴⁾に始まる一連の研究です。ろうソクの燃焼が「非線形振動子」と見なせるという知見¹⁵⁾や、振動するろうソク火炎上空の回転する渦の存在²⁰⁾は、火災旋風や竜巻・台風が発生メカニズムとの相関を予感させ、我々の視野を広げてくれています。ろうソク火炎の振動周波数が約10～11Hzである原因や、振動するろうソク火炎間の相互作用（同相同期と逆相同期）を納得できる形で説明できるモデル（理論）は未だ出ていないと筆者は考えていますが、今後の展開が楽しみです。

参考文献

- 1) 瀧本哲史『ミライの授業』講談社 (2016)
- 2) 蔵本由紀『非線形科学』集英社新書 (2007)
- 3) 例えば、久保有政『比較宗教 (仏教とキリスト教)』など
(<http://www2.biglobe.ne.jp/~remnant/bukkyokinisuto15.htm>)
- 4) 池内了編『科学と科学者のはなし—寺田虎彦エッセイ集』岩波少年文庫 (2000)
- 5) 三池秀敏『みぞ汁の対流パターン—ベナールセルから地球流体まで』パリティ 13 巻 8 号、p.4 (1998)
- 6) 三池秀敏、森義仁、山口智彦『非平衡系の科学 (3) — 反応・拡散系のダイナミクス』講談サイエンスフィック (1997)
- 7) H. Miike, S. C. Mueller, B. Hess, "Oscillatory Deformation of Chemical Waves Induced by Surface Flow", *Physical Review Letters*, 61, p.2109 (1988)
- 8) スティーブン・ストロガッツ (蔵本由紀監修、長尾力翻訳)『SYNC:なぜ自然はシンクロしたがるのか』早川文庫 (2014)
- 9) エドワード・ローレンツ『Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set a Tornado in Texas?』アメリカ科学振興協会 (1972)
- 10) 例えば、<http://www.chaos-math.org/ja/kaosu7qi-miao-naatorakuta>
- 11) D. Ruell and F. Takens, *Comm. Math. Phys.*, 64, p.35, (1978)
- 12) M. Faraday, *The Chemical History of a Candle* (1861)、(『蠟燭の科学』:ファラデー、矢島祐利訳、岩波文庫、1933)
- 13) 灯りの話 (山口芸術短期大学と「すおうランプ」とのコラボ:2018年2月)
<https://www.facebook.com/suoulamp/>
- 14) 石田隆宏、原田新一郎『炎の光の振動』化学と教育、47 巻 (1999) 10 号 p.716
- 15) H. Kitahata, J. Taguchi, M. Nagayama, T. Sakurai, Y. Ikura, A. Osa, Y. Sumino, M. Tanaka, E. Yokoyama, H. Miike, *J. Phys. Chem. A*, 113 (29), p.8164 (2009)
- 16) A. T. Winfree, *Journal of Theoretical Biology*, 16, p.15 (1967)
- 17) Y. Kuramoto, "Self-entrainment of a population of coupled nonlinear oscillators", in *International Symposium in Mathematical Problems in Theoretical Physics*, edited by H. Araki (Springer-Verlag: Lecture Notes in Physics, vol.39, 1975), pp.420-422. あるいは、Y. Kuramoto, [Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence] Springer, New York (1984)
- 18) 米原万理『米原万理の「愛の法則」』集英社新書 (2007)
- 19) P.W. Atkins (原著)、玉虫伶太 (翻訳)『新ロウソクの科学—化学変化はどのようにおこるか』東京化学同人 (1994)
- 20) Y. Nagamine, K. Otaka, H. Zuiki, H. Miike, A. Osa, *J. Phys. Soc. Japan*, 86 (2017), No.7, 074003